

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

BRUNA MAYUMI TOMITA

**ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA
FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE ELÉTRICA NO MUNICÍPIO DE
CURITIBA-PR**

CURITIBA
2017

BRUNA MAYUMI TOMITA

**ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA
FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE ELÉTRICA NO MUNICÍPIO DE
CURITIBA-PR**

Trabalho apresentado como requisito parcial à obtenção do título de especialista em Direito Ambiental no curso de Pós-Graduação em Direito Ambiental da Universidade Federal do Paraná.

Orientadora: Profa. Dra. Anna Christina Gonçalves De Poli

Co-orientadora: Ma. Jaqueline de Paula Heimann

CURITIBA
2017

RESUMO

O presente trabalho busca investigar a viabilidade econômico-financeira e ambiental da implantação de um sistema fotovoltaico de geração distribuída conectado à rede elétrica de baixa tensão no Município de Curitiba-PR, a fim de suprir a necessidade, ainda que parcial, do consumo de energia da unidade consumidora, objeto do estudo de caso, que será apresentado no decorrer deste projeto. Considerando o investimento inicial que a unidade consumidora deve dispendar para a implementação do sistema fotovoltaico, bem como as políticas governamentais de incentivo e os impostos incidentes em todo esse processo, busca-se analisar a viabilidade da implementação de um sistema de energia alternativa e renovável, que, além de reduzir os custos da concessão de energia elétrica, contribuirá para a mitigação de impactos ambientais negativos. Diante dos resultados obtidos no presente estudo, este trabalho permite demonstrar que a produção de energia elétrica a partir da energia solar fotovoltaica está cada vez mais acessível à população brasileira, graças aos sucessivos aumentos da tarifa de energia elétrica fornecida pelas concessionárias e da progressiva redução do custo de instalação do sistema fotovoltaico no país.

Palavras-chave: sistema fotovoltaico, viabilidade econômica, mitigação de impactos ambientais negativos.

ABSTRACT

The present work seeks to investigate the economic-financial and environmental viability of the implementation of a distributed generation photovoltaic system connected to the low-voltage grid in Curitiba city, located in Paraná State, in order to meet a partial need of the energy consumption of a residential unit, object of the study case, which will be presented during this project. Considering the initial investment that the consumer unit should expend for the implementation of the photovoltaic system, as well as the government incentive policies and the incident taxes throughout the process, the current study seeks to analyze the implementation of an alternative and renewable energy system, which, in addition to reducing the costs of electric power concession, will contribute to the mitigation of negative environmental impacts. Considering the results obtained from the present study, this work demonstrates that the production of electric energy from photovoltaic solar energy is gradually becoming more accessible to the Brazilian population, thanks to the successive increases in the electric energy tariff provided by the concessionaires and the progressively reduction on the cost of the installation of photovoltaic system in the country.

Keywords: photovoltaic system, economic viability, mitigation of negative environmental impacts.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Sistema Conectado (on grid).....	13
Figura 2 – Tarifa Residencial – ANEEL.....	17
Figura 3 – Sistemas Monofásicos, Bifásicos e Trifásicos.....	21
Figura 4 – Esquema Simplificado de Fluxo de Caixa.....	22
Figura 5 – Irradiação Solar no Plano Inclinado.....	25
Figura 6 – Dimensionamento do Sistema Fotovoltaico.....	29
Figura 7 – Economia após instalação do Sistema Fotovoltaico.....	30
Figura 8 – Gráfico do Custo do Investimento e Retorno Financeiro.....	37
Figura 9 – Estimativa da Economia anual gerada pelo Sistema Fotovoltaico.....	38
Figura 10 – Economia total aplicada.....	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tarifa de Energia Elétrica (TE).....	15
Tabela 2 – Tarifa de uso do sistema de Distribuição (TUSD).....	16
Tabela 3 – Histórico de Consumo	24
Tabela 4 – Dimensionamento do Sistema Fotovoltaico.	28
Tabela 5 – Descrição do Sistema Fotovoltaico.	28
Tabela 6 – Custo Total do Investimento do Sistema Fotovoltaico.....	31
Tabela 7 – Geração Mensal do Sistema Fotovoltaico.....	33
Tabela 8 – Análise do Investimento	34
Tabela 9 – Economia mensal gerada pelo Sistema Fotovoltaico.....	35
Tabela 10 – Payback do Sistema Fotovoltaico.....	36

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	OBJETIVOS	10
1.1.1	Objetivo geral	10
1.1.2	Objetivos específicos	10
2	REFERENCIAL TEÓRICO	11
2.1	RESOLUÇÃO ANEEL nº 482/2012 – REGULAÇÃO	11
2.2	FUNCIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO – GERAÇÃO DISTRIBUÍDA CONECTADA À REDE ELÉTRICA	12
2.3	CUSTO DA ENERGIA ELÉTRICA	14
2.3.1	Tarifação	14
2.3.2	Impostos	18
2.3.3	Sistema de bandeiras tarifárias	19
2.3.4	Custo de disponibilidade	20
3	ANÁLISE ECONÔMICA E FINANCEIRA	21
3.1	FLUXO DE CAIXA	21
3.2	TAXA MÍNIMA DE ATRATIVIDADE	22
3.3	PAYBACK	23
4	ESTUDO DE CASO: DIMENSIONAMENTO E VIABILIDADE ECONÔMICO-FINANCEIRA DA INSTALAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO RESIDENCIAL EM CURITIBA	23
4.1	CARACTERÍSTICAS E DADOS DO PROJETO DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA FOTOVOLTAICA	23
4.2	DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	25
4.2.1	Potência do gerador (Wp)	26
4.2.2	Número de módulos fotovoltaicos	26
4.2.3	Inversor	27
4.2.4	Demais equipamentos	27
4.2.5	Simulador solar – Programa América do Sol	29
4.3	CUSTO TOTAL DO INVESTIMENTO – IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	31
4.4	ANÁLISE DO PROJETO DE IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	32
4.4.1	Irradiação solar e geração de energia através da implantação do sistema fotovoltaico	33

4.4.2	Análise do investimento	34
4.4.3	Geração de energia solar e economia.....	34
4.4.4	Payback do sistema fotovoltaico.....	35
4.4.5	Estimativa de economia anual de energia e economia total aplicada....	37
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	40
	REFERÊNCIAS.....	42

1 INTRODUÇÃO

O atrativo econômico da micro e minigeração de energia está intrinsicamente associado aos sucessivos aumentos de tarifa de energia elétrica convencionais cobradas pelas concessionárias deste serviço e ao crescente cenário de potencial escassez dos recursos naturais.

Ademais, a busca por fontes limpas e renováveis de energia tem ocupado grande parte das discussões mundiais, uma vez que o presente cenário demonstra que a atual matriz energética é altamente dependente de combustíveis fósseis, o que evidencia a urgência em mudar a tendência energética para a utilização de tecnologias sustentáveis e, de preferência, não emissoras de carbono.

No que tange à utilização da energia solar fotovoltaica conectada à rede de distribuição, a modularidade, baixos custos de manutenção e longa vida útil do sistema têm despertado o interesse de investidores neste setor.

Isto porque, a geração distribuída fotovoltaica conectada à rede elétrica parte do princípio de que cada unidade consumidora é uma unidade de produção elétrica em potencial capaz de atender, total ou parcialmente, a sua própria demanda, ou, caso seja superior, de injetar o seu excedente na rede elétrica. Assim, os sistemas fotovoltaicos contribuem com o setor elétrico de duas formas: ao injetar a energia diretamente na rede de distribuição e ao atenuar a demanda de uma determinada unidade de consumo.

Desta forma, este trabalho foi desenvolvido a fim de aprimorar e disseminar conhecimentos em sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica, demonstrando a sua viabilidade econômica e ambiental, na medida em que constitui uma fonte renovável de energia com grande aplicabilidade no ambiente urbano.

Ainda, por estar junto ao ponto de consumo, minimizam-se as perdas com transmissão e distribuição e dispensa-se o uso de baterias, uma vez que a energia gerada é consumida diretamente pela unidade consumidora e o excedente é remetido para a rede elétrica, fato este que estimula a utilização do sistema fotovoltaico e, por consequência, a redução da geração de energia pelas fontes convencionais, mais poluidoras e prejudiciais ao meio ambiente, bem como a

eliminação do descarte dessas baterias, que certamente contribuíam para a elevação da degradação ambiental.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Desenvolver um estudo sobre a viabilidade econômico-financeira e ambiental da implantação de um sistema fotovoltaico de geração distribuída conectado à rede elétrica de baixa tensão no Município de Curitiba-PR, a fim suprir parcialmente a demanda de energia elétrica da unidade consumidora, cujo consumo médio mensal é de, aproximadamente, 165 kWh.

1.1.2 Objetivos específicos

- Desenvolver um estudo sobre sistemas fotovoltaicos;
- Colher dados da residência, a fim de verificar a quantidade de energia elétrica consumida e paga pela unidade consumidora;
- Dimensionar o sistema fotovoltaico capaz de suprir a demanda energética da referida residência;
- Avaliar o investimento necessário e a economia gerada na conta de energia elétrica;
- Verificar a viabilidade econômica e ambiental da implantação do sistema fotovoltaico conectado à rede.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 RESOLUÇÃO ANEEL nº 482/2012 – REGULAÇÃO

A Resolução Normativa nº 482/2012 da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL representa um grande avanço para a regulamentação da micro e minigeração de energia do país. Isto porque, a resolução estabelece as condições gerais de acesso da micro e minigeração distribuída aos sistemas interligados, permitindo ao consumidor a instalação de pequenos geradores em sua unidade consumidora e a conversão do excedente gerado em créditos de energia (sistema *net metering*), válidos por 60 meses, que podem ser utilizados posteriormente para abater a demanda dessa unidade consumidora ou, ainda, de outras unidades consumidoras do mesmo titular em outro local.

Segundo a resolução, será caracterizada como microgeração distribuída a eletricidade proveniente de central geradora com potência instalada menor ou igual a 75 kW e como minigeração distribuída plantas com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 3MW para fontes hídricas, ou menor ou igual a 5 MW para as demais fontes.

Outro fator de relevância da mencionada resolução diz respeito à medição de energia elétrica, pois os custos referentes à adequação do sistema de medição são de responsabilidade do interessado em implantar o sistema de compensação. Após a adequação, fica a concessionária responsável pela manutenção do sistema, incluindo os custos de eventual substituição.

Conforme preceitua Ellison Cooper e Wellyngton Moralles Martins Junior (2013), a referida regulamentação da conexão da eletricidade gerada pelo sistema fotovoltaico à rede para micro e minigeração de energia solar veio solucionar um grande impasse destes tipos de sistemas de fonte de energia variável, qual seja, a acumulação de energia. Isto porque, a rede substituiu os bancos de baterias que eram utilizados para armazenar a energia solar excedente gerada. Assim, houve a substituição desses bancos de baterias pela rede de distribuição, o que permitiu a redução do custo de instalação do sistema.

Assim, a energia solar excedente é injetada na rede elétrica, mediante o controle de medidores bidirecionais, e transformada em créditos que podem ser

consumidos junto à concessionária posteriormente, conforme acima explicitado – sistema *net metering*.

Desta forma, pode-se inferir que a supramencionada regulamentação tornou a energia solar fotovoltaica residencial um meio atrativo e economicamente viável, pois constitui uma geração complementar de energia que permite reduzir custos para a unidade consumidora através da utilização de uma fonte de energia natural e renovável, trazendo benefícios tanto econômicos como ambientais.

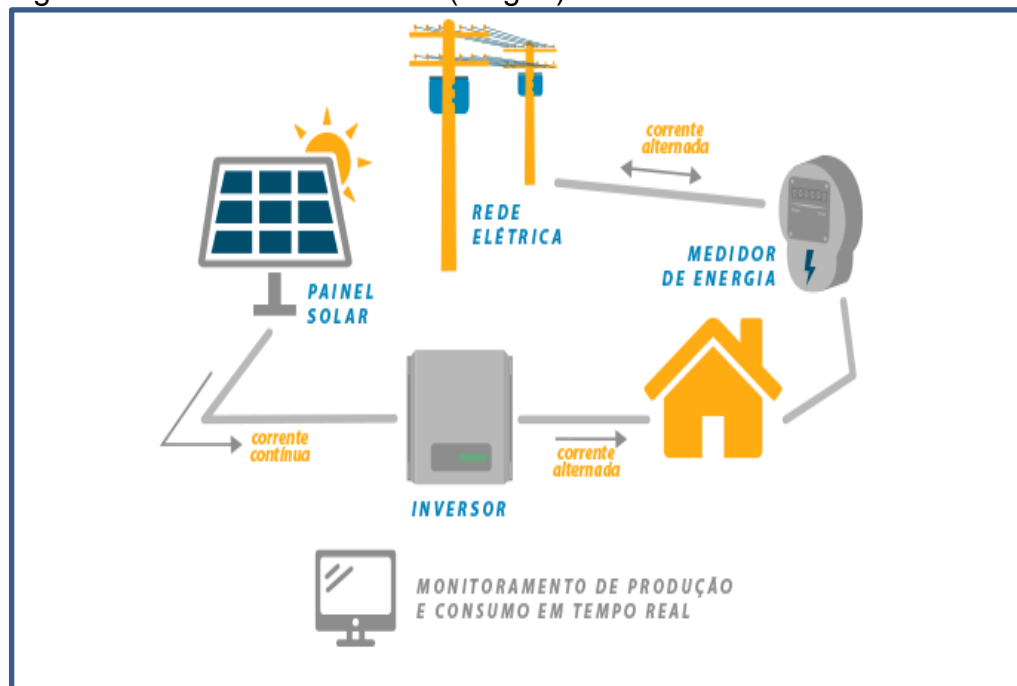
2.2 FUNCIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO – GERAÇÃO DISTRIBUÍDA CONECTADA À REDE ELÉTRICA

Inicialmente, convém mencionar que nas primeiras redes elétricas urbanas, o abastecimento de energia elétrica ocorria em corrente contínua e em pequena escala. Com o tempo, a utilização da corrente alternada viabilizou a transmissão da eletricidade por longas distâncias, o que resultou em ganhos de escala e redução de custos marginais.

Já no caso do sistema fotovoltaico instalado junto ao ponto de consumo e conectado à rede elétrica, os benefícios econômicos proporcionados a partir da redução da perda de energia, que geralmente ocorre no processo de transmissão, são ainda mais significativos, pois conforme elucidam Fábio Albuquerque, Adélio Moraes e Geraldo Guimarães (2009), as concessionárias de energia se beneficiam em diversos aspectos, como a redução de perdas elétricas, a diminuição dos custos da produção de energia, a liberação da capacidade de geração e o adiamento em investimentos na capacidade de transmissão e distribuição.

Porém, para incorporar os painéis fotovoltaicos ao sistema fotovoltaico de geração distribuída é necessária a instalação de outros componentes junto aos módulos a fim de tornar a energia produzida compatível com os equipamentos da carga a ser atendida e com a energia que será entregue à rede. Assim, a figura a seguir esquematiza, de forma didática, a montagem de um sistema de geração fotovoltaica de uma unidade consumidora conectada à rede elétrica.

Figura 1 – Sistema Conectado (on grid)



Fonte: SATRIX (2017)

Como anteriormente mencionado, os sistemas interligados à rede não necessitam de baterias, uma vez que todo o excedente de energia gerado é injetado na rede de distribuição, o que reduz o custo de instalação e manutenção, além de eliminar o problema ambiental decorrente do descarte de baterias.

No entanto, para que a energia gerada seja adequadamente ejetada na rede, é necessária a utilização de um inversor para converter a corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA), compatível em tensão, frequência e fase com a rede elétrica da concessionária, pois, conforme elucida Ricardo Rüther (2004), os módulos solares fotovoltaicos geram energia em corrente contínua, sendo, assim, necessário o uso de um equipamento eletrônico que possibilite a interconexão à rede elétrica.

Desta forma, para a implantação de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica de uma residência são necessários os seguintes componentes básicos: painéis solares; inversor; medidor bidirecional e sistema de monitoramento, cujos conceitos estão, a seguir, didaticamente explicitados por Rodolfo Damásio de Castro (2014), no intuito de elucidar as características gerais do sistema fotovoltaico residencial conectado à rede elétrica.

Os painéis solares são compostos por módulos fotovoltaicos, estruturas de fixação e fios condutores. Constituem a parte do sistema responsável pela geração

de energia elétrica, sendo os módulos fotovoltaicos responsáveis pela captura da energia solar e sua transformação em energia elétrica.

Já o inversor é o equipamento responsável por converter a corrente contínua produzida pelos painéis solares em corrente alternada, a fim de permitir que a energia gerada possa ser utilizada pela unidade consumidora e esteja no mesmo padrão da rede elétrica a qual está interligada. Portanto, o inversor permite interligar o sistema fotovoltaico à rede elétrica ao sincronizar a energia produzida com a frequência e a tensão de saída, bem como desconectar o sistema da rede quando esta estiver em reparo ou houver a sua falha.

O medidor bidirecional é o equipamento que registra a energia recebida da concessionária e a energia injetada pelo sistema fotovoltaico na rede elétrica. Se o fornecimento da rede pública for maior que o injetado, a diferença será cobrada pela concessionária. Caso contrário, os créditos poderão ser compensados nas faturas subsequentes pelo prazo de até 60 meses.

Por fim, o sistema de monitoramento é o equipamento de automação que, acoplado ao inversor, controla a produção e o rendimento, além de identificar qualquer anomalia do sistema. Desta forma, viabiliza a prática de ações preventivas e reparação imediata, com o intuito de evitar perdas de energia.

Elucidada tais conceituações, vislumbra-se que o sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica permite utilizar ao máximo a energia solar gerada, uma vez que usufrui da rede elétrica para armazenar o excedente e receber créditos de energia, os quais poderão ser utilizados na fatura dos meses subsequentes ou em outro local tarifado, observando-se a mesma titularidade em ambos os locais de compensação de energia e o prazo limite de compensação de 60 meses, conforme o sistema de compensação de créditos regulamentado pela Resolução nº 482 da ANEEL.

2.3 CUSTO DA ENERGIA ELÉTRICA

2.3.1 Tarifação

A tarifa é o meio que permite gerar receita suficiente para cobrir os custos operacionais dos prestadores dos serviços de energia e remunerar os

investimentos necessários para expandir a capacidade e garantir o atendimento com qualidade (ANEEL, 2017).

Conforme site da agência reguladora, esta calcula os custos e investimentos das concessionárias de distribuição para definir a tarifa do fornecimento de energia de cada distribuidora, de modo que as receitas por esta obtidas possam cobrir custos operacionais e remunerar investimentos necessários para expandir a capacidade e garantir a prestação eficiente do serviço.

O referido órgão regulador leva em consideração três custos distintos, a saber: os custos com a energia gerada; a transmissão e distribuição e os encargos setoriais e tributos, ou seja, a tarifa abrange os custos incorridos desde a geração de energia até a sua disponibilização às unidades consumidoras.

Dito isto, convém mencionar que a ANEEL determina que as faturas de energia elétrica apresentem, separadamente, os valores que os consumidores pagam pelo uso do sistema elétrico e pelo o que é efetivamente consumido.

Assim, para fins de uma melhor compreensão, iremos desdobrar as particularidades da tarifa de energia elétrica cobrada pela concessionária Copel Distribuidora de uma unidade consumidora residencial. Desta forma, o site da companhia informa que a composição das tarifas de energia elétrica homologadas pela ANEEL compreenderá os valores relativos à tarifa de energia elétrica (TE) e à tarifa de uso dos sistemas de distribuição (TUSD).

Nesse sentido, a resolução normativa nº 166, de 10 de outubro de 2005 traz a composição das tarifas de energia elétrica (TE) e de uso dos sistemas de distribuição (TUSD), cujos componentes estão elencados nas tabelas abaixo relacionadas.

Tabela 1 – Tarifa de Energia Elétrica (TE)

Custo de aquisição de energia elétrica para revenda
Custo da geração própria
Repasse de potência proveniente da ITAIPU
Transporte de energia proveniente da ITAIPU
Uso dos sistemas de transmissão da ITAIPU
Encargos de serviços do sistema – ESS
Perdas na rede básica

Fonte: A autora, 2017

Conforme elucida Sergio Kinya Fugimoto (2010), no caso da tarifa de energia elétrica (TE), a alocação dos custos é feita proporcionalmente à energia consumida.

Tabela 2 – Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD)

TUSD – Fio A
Custos com pagamento da TUST rede básica e TUST fronteira; custos de conexão às instalações de Rede Básica, custos com o uso da rede de distribuição de outras concessionárias e perdas elétricas na Rede Básica (perdas técnicas e não-técnicas).
TUSD – Fio B
Remuneração dos ativos de distribuição de energia elétrica, quotas de reintegração decorrente da depreciação e custos operacionais e de manutenção.
TUSD – ENCARGOS DO SERVIÇO DE DISTRIBUIÇÃO
Custo com os encargos de Reserva Global de Reversão (RGR), Taxa de Fiscalização de Serviços de Energia Elétrica (TFSEE), Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) e Eficiência Energética e Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS)
TUSD – PERDAS TÉCNICAS
Custo das perdas técnicas da distribuição, em MWh, valorada pelo preço médio de compra
TUSD - CCC
Custo da quota de recolhimento à Conta de Consumo de Combustíveis (CCC)
TUSD - CDE
Custo da quota de recolhimento à Conta de Desenvolvimento Energético (CDE)
TUSD - PROINFA
Custo do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de energia elétrica (PROINFA)
TUSD – PERDAS NÃO TÉCNICAS
Custo das perdas não técnicas, em MWh, valorada pelo preço médio de compra

Fonte: A autora, 2017

Quanto à tarifa de uso do sistema de distribuição (TUSD), o mesmo autor, estabelece que a referida tarifa abrange os custos com as instalações, equipamentos e componentes da rede de distribuição utilizados para levar a energia com qualidade e continuidade (linhas de transmissão e distribuição).

Após explicitar a composição da tarifa de energia elétrica, vale ressaltar que tarifa e preço possuem conceitos diferentes. A tarifa constitui o valor a ser cobrado pela prestação dos serviços de geração, transmissão e distribuição de energia, enquanto que o preço é a composição da tarifa com os impostos (ICMS e PIS/COFINS).

Assim, o valor cobrado pelo consumo mensal é calculado multiplicando o valor do consumo no mês pelo valor da tarifa de energia publicada pela ANEEL com impostos. O referido consumo é mensurado em kWh (quilowatt-hora) e é multiplicado pela tarifa publicada pela ANEEL, a qual é medida em R\$/kWh (reais por quilowatt-hora).

Como no presente estudo de caso a unidade consumidora encontra-se no município de Curitiba, traremos detalhes acerca da Copel Distribuidora, que é a concessionária que abastece a região paranaense.

A tabela a seguir demonstra os valores utilizados pela distribuidora no momento de realizar o cálculo do valor a ser cobrado da unidade consumidora residencial.

Figura 2 – Tarifa Residencial – ANEEL

CONVENCIONAL	Resolução ANEEL Nº 2.255, de 20 de junho de 2017	
Tarifa em R\$/kWh	Resolução ANEEL	Com Impostos: ICMS e PIS/COFINS
B1 – Residencial	0,44056	0,69118
Vigência em 24/06/2017		

Fonte: COPEL (2017)

Além das tarifas homologadas pela ANEEL, a Copel recolhe e repassa na conta de energia elétrica os tributos federais (PIS e COFINS), estaduais (ICMS) e municipais (contribuição para custeio do serviço de Iluminação Pública), estes pormenorizados no item a seguir.

Definido o conceito e cálculo da tarifa de energia elétrica, convém mencionar que a ANEEL pode, além dos reajustes tarifários anuais e das revisões tarifárias, realizar a revisão tarifária extraordinária a qualquer tempo, a pedido da distribuidora, quando algum evento ocasionar significativo desequilíbrio econômico-financeiro.

Segundo Juliano Assunção, Leonardo Rezende e Amanda Schutze (2015), as revisões tarifárias passaram, a partir de 1995, a considerar as características de cada área de concessão, tais como o número de consumidores, a densidade do mercado (quantidade de energia distribuída a partir de uma determinada infraestrutura), os quilômetros da rede de distribuição de cada empresa e o custo da energia comprada pelas distribuidoras.

Desta forma, pode-se aferir que o valor tarifário da energia elétrica no país é alvo de inúmeras adversidades que impactam diretamente na viabilidade econômica e financeira da instalação do sistema fotovoltaico, uma vez que a sua implementação possibilita uma maior autonomia à unidade consumidora frente às oscilações tarifárias, a evolução demográfica e o crescimento da atividade econômica que, dia após dia, aumentam o consumo de energia elétrica no país.

2.3.2 Impostos

Atualmente, os impostos incidentes sobre o consumo final da unidade consumidora cobrados pelo Governo são o PIS/PASEP, o CONFINS e o ICMS. (Cadernos Temáticos ANEEL 2016).

O Programa de Integração Social e o programa do patrimônio do servidor público - PIS/PASEP tem o objetivo de promover a integração dos trabalhadores na vida e no desenvolvimento das empresas, viabilizando uma melhor distribuição da renda por meio do financiamento de benefícios como o Abono Salarial e o Seguro-Desemprego.

Já a Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social – CONFINS, instituída pela Lei Complementar nº 70/1991, constitui uma contribuição social para financiamento da Seguridade Social, a fim de custear despesas das áreas de Saúde, Previdência e Assistência Social.

Com a publicação da Lei nº 13.169/2015, o PIS e COFINS passaram a ter incidência apenas sobre a diferença positiva entre a energia consumida e a energia injetada pela unidade consumidora através da micro ou minigeração distribuída.

E por fim, o Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços - ICMS, que é um tributo estadual que incide sobre a circulação de produtos e mercadorias em geral, sendo, no caso do presente estudo, aplicável aos serviços de projeto,

implantação, expansão, operação e manutenção das instalações de energia elétrica.

No que tange à micro e minigeração distribuída, convém mencionar a importante mudança trazida pelo Convênio ICMS 16, de 22/04/2015, que autorizou as unidades federativas a conceder isenção nas operações internas relativas à circulação de energia elétrica, cujo faturamento estaria sujeito ao sistema de compensação de energia. Assim, para os Estados aderentes ao Convênio ICMS 16/2015, o ICMS somente incidiria sobre a diferença entre a energia consumida e a energia injetada na rede elétrica no mês de referência. Porém, para os Estados que não aderissem ao supramencionado convênio, manter-se-ia a regra anterior, cobrando o ICMS sobre todo o consumo, sem considerar a energia injetada na rede elétrica pela micro ou minigeração.

Não obstante as supracitadas regulações, insta complementar o já exposto tributo, com os dizeres da súmula nº 391 do STJ, que estabelece que “O ICMS incide sobre o valor da tarifa de energia elétrica correspondente à demanda de potência efetivamente utilizada”. Desta forma, o fato gerador do ICMS ocorrerá somente no momento em que a energia elétrica é efetivamente consumida pelo contribuinte.

A Copel Distribuidora cobra na fatura, além dos tributos supramencionados, a contribuição para o custeio do serviço de iluminação pública, cuja finalidade é o financiamento do serviço de iluminação pública, inserido pela Emenda Constitucional nº 39, de 19 de dezembro de 2002.

2.3.3 Sistema de bandeiras tarifárias

O sistema de bandeiras tarifárias está em vigor em todo território nacional desde o ano de 2015. O sistema abrange três bandeiras: verde, amarela e vermelha, as quais indicam o custo da energia em função das condições da geração de eletricidade. Quando tais condições não são favoráveis, muda-se a bandeira e paga-se um adicional por cada quilowatt-hora (kWh) consumido (ANEEL 2017).

As categorias de custos identificados pelas cores verde, amarela e vermelha correspondem às condições abaixo relacionadas.

A bandeira verde indica condições favoráveis de geração de energia. Desta forma, a tarifa não sofre acréscimos.

Já a bandeira amarela indica condições de geração menos favoráveis, fazendo com que a tarifa sofra um acréscimo de R\$ 0,020 para cada quilowatt-hora (kWh) consumido.

E por fim, a bandeira vermelha, dividida em patamar 1 e patamar 2. A bandeira vermelha – patamar 1 indica que as condições de geração de energia estão mais custosas, desta forma a tarifa sofre acréscimo de R\$ 0,030 para cada quilowatt-hora consumido. Já a bandeira vermelha – patamar 2, as condições de geração de energia encontram-se ainda mais custosas, e, portanto, a tarifa sofre um acréscimo de R\$ 0,035 para cada quilowatt-hora consumido.

Assim, o sistema de bandeiras tarifárias permite sinalizar, mês a mês, o custo de geração de energia elétrica a ser cobrada do consumidor, oportunizando a este, caso assim desejar, adaptar-se ao consumo com base na tarifa que será cobrada em determinado mês.

2.3.4 Custo de disponibilidade

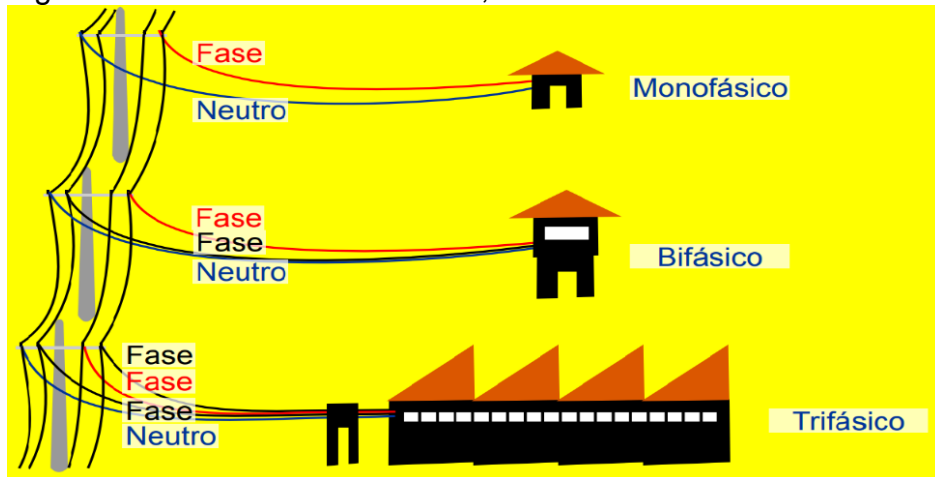
Ainda que a unidade consumidora atendida em baixa tensão de fornecimento não utilize a energia elétrica por um determinado período, a distribuidora cobrará o valor mínimo na fatura (custo de disponibilidade). Isto porque a concessionária precisa manter em estado de prontidão toda a sua rede elétrica para atendimento do seu usuário.

Assim, a Agência Nacional de Energia Elétrica estabeleceu os valores mínimos para cada perfil de unidade consumidora residencial, da seguinte forma: para as unidades consumidoras conectadas em baixa tensão (Grupo B), haverá um custo de disponibilidade (valor mínimo faturável), que será um valor, em reais, equivalente a 30 kWh para sistemas monofásicos, 50 kWh para bifásicos ou 100 kWh para os trifásicos, cobrado pela concessionária independente do efetivo consumo pela unidade consumidora.

Segundo a ANEEL, a unidade consumidora monofásica está ligada à rede de energia elétrica por uma fase (onde transita a energia) e um neutro (para fechar o circuito), ou seja, dois condutores. Já a ligação bifásica é feita por duas fases e um neutro (três condutores), enquanto a trifásica é ligada por três fases e um

neutro (quatro condutores). A figura a seguir elucida de forma didática as ligações monofásica, bifásica e trifásica, respectivamente.

Figura 3 – Sistemas monofásicos, bifásicos e trifásicos



Fonte: ANEEL (2017)

O número de fases deve aumentar quanto maior for a carga (demanda e consumo) da unidade consumidora, a fim de garantir uma maior qualidade e segurança no fornecimento de energia.

3 ANÁLISE ECONÔMICA E FINANCEIRA

Para fins de análise da viabilidade econômica e financeira da implantação de um sistema fotovoltaico residencial, serão levados em consideração os seguintes dados:

3.1 FLUXO DE CAIXA

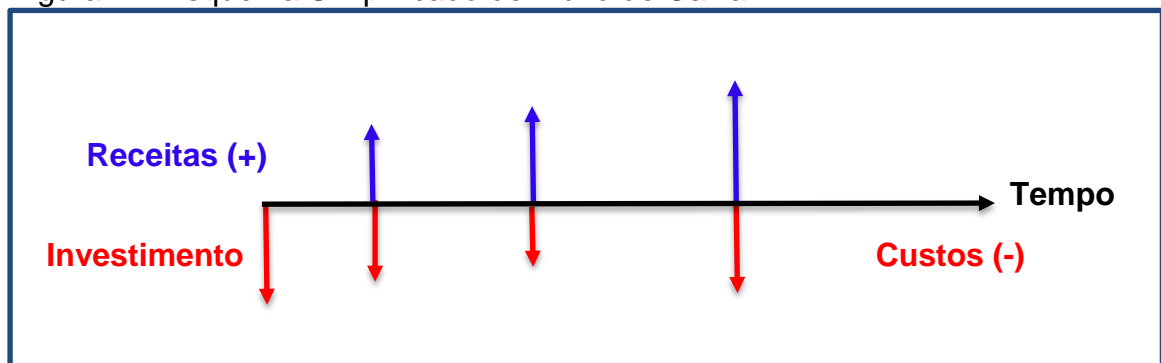
Através do Fluxo de Caixa, poder-se-á analisar o retorno da instalação do sistema fotovoltaico na unidade consumidora, objeto deste estudo. O Fluxo de Caixa é uma ferramenta que controla a movimentação financeira (entradas e saídas de recursos financeiros) em determinado período de tempo, a fim de indicar como estará o saldo de caixa para o período projetado (Sebrae 2011).

José Carlos Marion (1998) determina que a Demonstração do Fluxo de Caixa indica a origem e a aplicação de todo o dinheiro que transitou pelo caixa em um determinado período.

No presente trabalho, o Fluxo de Caixa abrangerá as receitas que o investimento proporcionará (valores positivos) e os custos (valores negativos), sendo que o investimento será um custo lançado no momento zero.

O fluxo de caixa é, normalmente, representado por um diagrama de flechas, sendo que as flechas para baixo representam as saídas financeiras (custos) e as flechas para cima representam as entradas financeiras (receitas), como mostra o exemplo a seguir:

Figura 4 – Esquema Simplificado de Fluxo de Caixa



Fonte: A autora, 2017.

Portanto, constitui uma ferramenta bastante utilizada para facilitar a visualização da movimentação financeira. Sendo também utilizado para realizar a previsão de gastos ou a rentabilidade de investimentos. A partir desse levantamento de informações é possível contar com uma base de dados capaz de fornecer subsídios ao investidor na tomada de decisão.

3.2 TAXA MÍNIMA DE ATRATIVIDADE

Representa a taxa mínima que um investidor se dispõe a ganhar quando realiza um investimento. Essa taxa é composta a partir da análise de três componentes básicos, abaixo elencados.

O primeiro diz respeito ao custo de oportunidade, que constitui as remunerações que serão desprezadas no momento da realização do investimento,

ou seja, um benefício renunciado a partir de uma escolha. Ex: Caderneta de Poupança, títulos do tesouro, fundos de investimento, entre outros.

Já o segundo trata sobre o risco do negócio, que estabelece que rendimento compensará o risco pertinente à ação.

E por fim, a liquidez, que é o tempo de conversão do investimento em caixa. Assim, quanto maior a liquidez do investimento, melhor.

Conforme Casarotto Filho e Kopittke (1994), a nova proposta, para ser atrativa, deve render, no mínimo, a rentabilidade de outras aplicações correntes e de pouco risco.

Para Regis da Rocha Motta (2009), a Taxa Mínima de Atratividade constitui a menor taxa de retorno que induzirá o investidor a efetivar o projeto, considerando que as suas motivações sejam puramente financeiras, ou seja, a sua análise fundamenta-se apenas na lucratividade do investimento.

Portanto, o retorno econômico deve compensar o custo de capital e os riscos envolvidos no investimento.

3.3 PAYBACK

Conforme elucida Motta (2009), *payback* é o tempo necessário para recuperar o investimento inicial do projeto, ou seja, o tempo que este investimento leva para zerar o fluxo de caixa acumulado.

4 ESTUDO DE CASO: DIMENSIONAMENTO E VIABILIDADE ECONÔMICO-FINANCEIRA DA INSTALAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO RESIDENCIAL EM CURITIBA

4.1 CARACTERÍSTICAS E DADOS DO PROJETO DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA FOTOVOLTAICA

Para o estudo de caso em questão, foi simulada a instalação de painéis fotovoltaicos interligados à rede local de distribuição de energia elétrica, tendo por base uma residência de 160 m² operando num sistema bifásico, localizada no Município de Curitiba. Utiliza-se como referência o consumo médio anual da residência. Assim, com base nos valores provenientes do histórico de consumo da

unidade consumidora abaixo, tem-se que o consumo médio anual será de 165 kWh/mês.

Tabela 3 – Histórico de Consumo

Mês/Ano	Data Leitura	Leitura	Consumo	Nº de dias/Faturamento	Consumo Médio Diário
12/2016	16/12/2016	12750	153 kWh	28 dias	5,46 kWh
11/2016	18/11/2016	12597	161 kWh	30 dias	5,36 kWh
10/2016	19/10/2016	12436	157 kWh	30 dias	5,23 kWh
09/2016	19/09/2016	12279	184 kWh	32 dias	5,75 kWh
08/2016	18/08/2016	12095	176 kWh	30 dias	5,86 kWh
07/2016	19/07/2016	11919	192 kWh	33 dias	5,81 kWh
06/2016	16/06/2016	11727	149 kWh	30 dias	4,96 kWh
05/2016	17/05/2016	11578	152 kWh	29 dias	5,24 kWh
04/2016	18/04/2016	11426	180 kWh	32 dias	5,62 kWh
03/2016	17/03/2016	11246	167 kWh	28 dias	5,96 kWh
02/2016	18/02/2016	11079	171 kWh	30 dias	5,70 kWh
01/2016	19/01/2016	10908	133 kWh	30 dias	7,15 kWh

Fonte: A autora, 2017, com base em dados obtidos das faturas da residência - Distribuidora COPEL)

Como cada região do país apresenta uma incidência de irradiação solar específica, nesta análise foi utilizada a irradiação solar no município de Curitiba, conforme o gráfico a seguir:

Figura 5 – Irradiação Solar no Plano Inclinado

Cálculo no Plano Inclinado																
Estação: Curitiba Município: Curitiba, PR - BRA Latitude: 25,3° S Longitude: 49,273055° O Distância do ponto de ref. (25,435° S; 49,278111° O): 15,0 km																
#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]													
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
☑	Plano Horizontal	0° N	4,67	4,11	3,47	3,06	2,53	2,47	3,11	3,31	3,67	4,22	4,94	5,06	3,72	2,59
☑	Ângulo igual a latitude	25° N	4,25	3,93	3,54	3,41	3,06	3,18	4,05	3,90	3,90	4,13	4,54	4,53	3,87	1,48
☑	Maior média anual	20° N	4,37	4,01	3,56	3,38	2,99	3,07	3,90	3,83	3,90	4,19	4,66	4,67	3,88	1,69
☑	Maior mínimo mensal	44° N	3,63	3,50	3,31	3,38	3,19	3,42	4,37	3,99	3,74	3,72	3,89	3,80	3,66	1,17

Fonte: CRESESB (2017)

As informações supracitadas são de relevante importância para auxiliar a tomada de decisão quanto à instalação do sistema fotovoltaico na unidade consumidora, pois, com base nos dados obtidos no estudo de caso, poder-se-á analisar a viabilidade econômica e financeira do sistema fotovoltaico.

No entanto, salienta-se que fatores externos incontornáveis podem alterar os resultados obtidos. Portanto, no presente estudo, iremos adotar um posicionamento abstrato de um projeto meramente teórico, cuja análise poderá, posteriormente, ser validada por uma análise técnica de fornecedores no mercado.

4.2 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Nesta seção, detalharemos o método de planejamento técnico da instalação de um sistema fotovoltaico sob a ótica da unidade consumidora, angariando os dados fornecidos pela residência para darmos sequência, ao final, ao estudo da viabilidade econômica e financeira da implementação do sistema.

Para fins de obter o dimensionamento aproximado do sistema fotovoltaico, utilizar-se-á o modelo de painel solar fotovoltaico policristalino de 265 W da Canadian Solar, modelo CS6P-265P, que segundo o fabricante, em condições ideais, é capaz de produzir 265W.

Como o sistema é bifásico, para suprir parte do consumo da unidade consumidora e deixar apenas o pagamento da tarifa referente ao custo de disponibilidade, dever-se-á descontar da média do consumo mensal da residência o custo de disponibilidade do sistema bifásico que é de 50kWh.

Para o dimensionamento do Sistema Fotovoltaico, será realizada uma análise quanto à potência mínima do gerador e o número de módulos fotovoltaicos necessários para atender a demanda da unidade consumidora da simulação.

4.2.1 Potência do gerador (Wp)

Para calcular a potência do gerador, utilizaremos a seguinte fórmula:

$$\text{➤ Potência do Gerador (Wp)} = \frac{\text{Consumo Médio kWh/dia}}{\text{Irradiação Solar Média}}$$

A potência do gerador (Wp) é a potência total de um conjunto de módulos que será necessário para atender a demanda de consumo da unidade consumidora.

Já o consumo médio (kWh/dia) constitui o valor de consumo aproximado, considerando, neste estudo, a média dos últimos 12 meses, descontado o custo de disponibilidade, que no sistema bifásico é de 50kWh, dividido por 30 dias.

Por fim, a irradiação solar média (kWh/m²), para a simulação da implantação do sistema fotovoltaico, utilizará a média de incidência de irradiação solar no plano horizontal do Município de Curitiba.

Assim:

$$\text{➤ Potência do Gerador (Wp)} = \frac{3,83}{3,72} = 1,03 \text{ kWp}$$

4.2.2 Número de módulos fotovoltaicos

Calculada a potência do gerador para o sistema fotovoltaico, deve-se dimensionar o número de módulos fotovoltaicos que será necessário para suprir a demanda da unidade consumidora. Desta forma, será utilizada a seguinte equação:

$$\text{➤ Número de Módulos} = \frac{\text{Potência do Gerador}}{\text{Potência do Módulo}}$$

$$\text{➤ Número de Módulos} = \frac{1030 \text{ W}}{265 \text{ W}} = 3,89 \approx 4 \text{ Módulos}$$

Assim, serão necessários 4 módulos de 265 W de potência, ocupando, aproximadamente, 6,43 m² no telhado da residência, uma vez que cada módulo tem 1638 mm de comprimento e 982 mm de largura.

4.2.3 Inversor

Para verificar o inversor adequado para o sistema fotovoltaico da simulação, deve-se levar em consideração a potência do gerador (1,03 kWp), mais um acréscimo de 15%, a fim de atender o fator de segurança. Neste caso, o inversor adequado deve suprir as necessidades de 1,18 kWp de potência mínima do gerador. Em pesquisa realizada de mercado, utilizar-se-á o inversor Grid Tie Ecosolys – ECOS2000, com potência de 2,0 kW.

4.2.4 Demais equipamentos

Para a implantação do sistema fotovoltaico também são necessários: (i) cabos elétricos; (ii) conectores; (iii) string box (quadro de proteção e isolamento para lado CC e CA); (iv) estruturas de alumínio para fixação em telhados e (v) mão de obra.

Pode-se, a partir dos cálculos elaborados no decurso deste trabalho, conectar todas as informações adquiridas e elaborar, de forma sistematizada, o dimensionamento do sistema fotovoltaico, conforme abaixo:

Tabela 4 – Dimensionamento do Sistema Fotovoltaico

Cidade:	CURITIBA
Potencia installada (Kwp):	1,03
POTENCIA DAS PLACAS EM W	265
Valor do Kwh r\$:	0,70
Quantidade de placas	4
Superficie necessaria se teto inclinado	6,30
Orientacao ideal	Norte
Inclinacao ideal	25

Fonte: A autora, 2017, com base nos dados obtidos no presente estudo

A partir dos dados, especificações e características do sistema fotovoltaico definidos ao longo deste trabalho, pode-se calcular o total de energia solar gerado ao longo de determinado período. A tabela, a seguir, apresenta o detalhamento do sistema fotovoltaico a ser utilizado pela unidade consumidora.

Tabela 5 – Descrição do Sistema Fotovoltaico

DETALHES DO SISTEMA FOTOVOLTAICO		
* Geração anual de:	1.206,41	kWh
* Sistema fotovoltaica com uma potência de	1,03	kWp
Quantidade de placas solares (265 Wp):	3,88679	4
Potência instalada:	1,03	KWp
Geração (kWh/ano):	1.206,41	kWh
Inclinação prevista:	25	
Área utilizada se for teto inclinado:	6	m²
Orientação:	Norte	

Fonte: A autora, 2017, com base nos obtidos no presente estudo

As informações supramencionadas possibilitam que a unidade consumidora possa dimensionar o sistema fotovoltaico que necessitará implementar em sua residência para fins de suprir, ainda que parcialmente, o seu consumo de energia elétrica, constituindo uma ferramenta para o auxílio de tomada de decisão quanto à viabilidade da instalação do sistema.

O levantamento de informações referentes às tarifas de energia elétrica cobrada pela concessionária, a localidade, a irradiação solar do plano inclinado, a disponibilidade de instalação dos módulos fotovoltaicos, o consumo de energia médio da residência, entre outras, constituem dados essenciais para a metodologia de análise, que visa, precipuamente, verificar a viabilidade financeira para a

tomada de decisão quanto à utilização de energia solar fotovoltaica como meio suplementar ao consumo energético da residência.

4.2.5 Simulador solar – Programa América do Sol

Apenas para fins de conferência dos resultados adquiridos anteriormente na simulação do estudo de caso do presente trabalho, utilizaremos o simulador solar do Programa América do Sol, de iniciativa do Instituto para o Desenvolvimento das Energias Alternativas na América Latina (IDEAL).

Esse simulador permite calcular a potência de um sistema fotovoltaico para atender à necessidade energética anual de uma unidade consumidora, no presente estudo, utilizamos uma unidade residencial.

Assim, após o fornecimento de alguns dados como: o consumo de eletricidade de janeiro a dezembro, a localidade da unidade consumidora, a distribuidora a que pertence e o custo da energia elétrica, o simulador informa quanto kWh um sistema fotovoltaico geraria anualmente, abatendo-o do consumo proveniente da rede elétrica, o que acarretaria, conseqüentemente, a economia na sua conta de luz. Ademais, também fornece, aproximadamente, a área necessária para a instalação dos módulos fotovoltaicos.

O demonstrativo dos resultados alcançados com a utilização do referente simulador está apresentado a seguir (Figura 6 e Figura 7):

Figura 6 – Dimensionamento do Sistema Fotovoltaico

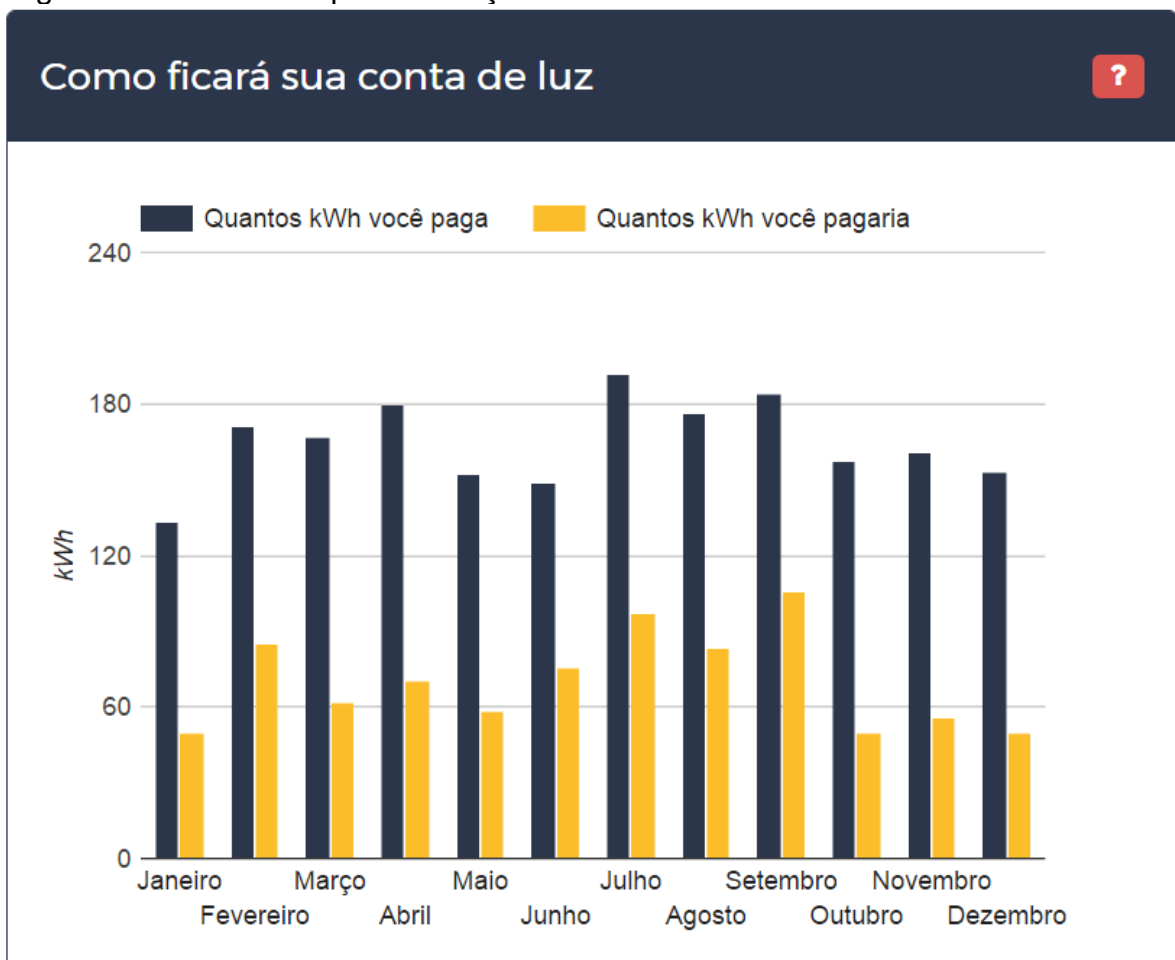
Características do Sistema Fotovoltaico ?	
Capacidade do seu sistema (Potência)	900 Wp
Área ocupada pelo seu sistema*	de 6 a 8 m ²
Inclinação aproximada dos módulos	26°
Rendimento anual	1.297 kWh/kWp
Emissões de CO ₂ evitadas	340 kg/a
Como seria seu consumo elétrico anual	
Consumo Total	1.975 kWh
Seu consumo da rede elétrica	808 kWh
Sua geração fotovoltaica	1.167 kWh

Fonte: Simulador Solar – América do Sol (2017)

O simulador solar realiza um cálculo aproximado, que prevê o abastecimento da demanda elétrica anual informada, descontando um consumo mínimo da rede elétrica que corresponde ao custo de disponibilidade, fruto da obrigação da concessionária de oferecer a infraestrutura necessária para a unidade consumidora usufruir da energia da rede elétrica.

A simulação considera que os módulos fotovoltaicos instalados estariam voltados para o Norte e com uma inclinação ótima, a qual corresponde à latitude da localização escolhida. Contudo, não considera as condições da vizinhança do local informado por você para instalar o sistema e que podem levar a uma revisão da produção elétrica devido aos sombreamentos dos módulos causados por árvores ou edificações próximas. Portanto, o resultado serve apenas para dar uma ideia da potência necessária para a demanda elétrica da unidade consumidora (site da América do Sol 2017).

Figura 7 – Economia após instalação do Sistema Fotovoltaico



Fonte: Simulador Solar – América do Sol (2017)

O gráfico mostra a redução que a unidade consumidora teria na sua conta de luz com a instalação de um sistema fotovoltaico, através da comparação do quanto, em kWh, se paga atualmente à distribuidora pelo consumo de eletricidade vindo da rede (barras azuis) e quanto se pagaria a partir da instalação do sistema fotovoltaico resultante dessa simulação (barras amarelas). Porém, a conta de luz vai variar de acordo com a geração elétrica mensal de seu sistema fotovoltaico, a depender da irradiação do local.

Ressalta-se que a fatura de energia da unidade consumidora nunca seria zerada, pois os consumidores do Grupo B (residencial) devem pagar, mensalmente, pelo menos o custo de disponibilidade. Como a conexão à rede é bifásica, o seu custo em reais será o equivalente a 50 kWh.

Ademais, conforme dados obtidos do Simulador supracitado, com a instalação do sistema fotovoltaico na potência recomendada, a economia na conta de luz será, a cada ano, de, aproximadamente, 1.167 kWh, valor este produzido pela gerador instalado.

4.3 CUSTO TOTAL DO INVESTIMENTO – IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Após a definição do dimensionamento do sistema fotovoltaico (potência mínima do gerador; quantidade de módulos necessários para a produção de energia; inversor e demais equipamentos), poder-se-á calcular, aproximadamente, mediante pesquisa de preço de mercado, o custo do investimento total para a instalação de um sistema de geração de energia residencial na modalidade *grid tie*, a qual é representada na tabela abaixo:

Tabela 6 – Custo Total do Investimento do Sistema Fotovoltaico

Quantidade	Descrição dos Equipamentos	Valor Unitário	Valor Total
4 unidades	Painel Solar Fotovoltaico 265P - modelo CS6P-265P Canadian Solar	R\$ 615,75	R\$ 2.463,00

1 unidade	Inversor Grid Tie Ecosolys – ECOS2000 – Potência de 2 kW	R\$ 3.563,00	R\$ 3.563,00
40 metros	Cabo fotovoltaico com espessura de 6 mm ² , modelo Prysmian Afumex Preto	R\$ 6,42	R\$ 259,60
2 pares	Conectores fotovoltaicos do tipo MC4, modelo MC40406	R\$ 10,90	R\$ 21,80
1 unidade	Quadro Elétrico Fotovoltaico (Stringbox), 1 string IP40 16A e 660V	R\$ 1.571,70	R\$ 1.571,70
1 unidade	Kit de Montagem Thesan para telha cerâmica (com ganchos) – 4 painéis fotovoltaicos	R\$ 1.200,00	R\$ 1.200,00
1 unidade	Jogo de conexão para perfis Thesan Universal Medium	R\$ 51,72	R\$ 51,72
1 serviço	Mão de Obra para instalação	R\$ 1.217,50	R\$ 1.217,50
Custo Total do Investimento			R\$ 10.348,32

Fonte: A autora, 2017, elaborado com base nas informações resultantes da pesquisa de mercado

Assim, o custo do investimento total para o sistema fotovoltaico para a unidade consumidora neste estudo de caso será de R\$ 10.348,32.

4.4 ANÁLISE DO PROJETO DE IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

A seguir, houve a elaboração de planilhas ilustrando os dados obtidos do projeto e, conseqüentemente, a economia gerada a partir da implantação do sistema fotovoltaico conectada à rede elétrica (*grid tie*), com o objetivo de analisar a viabilidade econômica da instalação do referido sistema.

4.4.1 Irradiação solar e geração de energia através da implantação do sistema fotovoltaico

De posse dos dados de Irradiação Solar do Plano Inclinado de Curitiba, retirados do site da CRESESB, poder-se-á calcular, aproximadamente, a geração mensal do sistema fotovoltaico, conforme tabela a seguir:

Tabela 7 – Geração Mensal do Sistema Fotovoltaico

Geração (KWh / mês)		CURITIBA	ORIENTAÇÃO ÂNGULO LATITUDE
Mês de Ref.	TOTAL	Radiação solar no plano inclinado(kWh/m²)	
	CURITIBA		
		Norte	
		25	
JAN	110	4,25	
FEV	102	3,93	
MAR	92	3,54	
ABR	89	3,41	
MAI	80	3,06	
JUN	83	3,18	
JUL	105	4,05	
AGO	101	3,90	
SET	101	3,90	
OUT	107	4,13	
NOV	118	4,54	
DEZ	118	4,53	
TOTAL	1206	Eficiência do Projeto Fotovoltaico (inferência padrão):	
		0,83	
		Assumindo uma eficiência de 83%	

Fonte: A autora, 2017, com base nos dados obtidos no presente estudo

O cálculo da geração mensal de energia produzida pelo sistema fotovoltaico é essencial para que se possa, de antemão, conhecer a potencialidade energética do sistema com o fim de suprir a demanda elétrica da unidade consumidora, seja em termos de suplementar ou, até mesmo, substituir a fonte de geração energética da residência, ponderando-se, sempre, a viabilidade econômica e financeira e os diversos benefícios ambientais provenientes da implementação do sistema de geração fotovoltaico.

4.4.2 Análise do investimento

A tabela abaixo demonstra a análise comparativa entre o investimento dispendido para a implementação do sistema fotovoltaico frente a outros investimentos, como, por exemplo, a aplicação no Certificado de Depósito Interbancário – CDI.

Nesta análise, considera-se a inflação energética média e o preço do watt peak cobrado pela concessionária de energia elétrica da unidade consumidora, objeto do presente estudo, para fins de ponderar a viabilidade econômica e financeira da instalação do sistema fotovoltaico frente a outro investimento qualquer, no intuito de verificar a rentabilidade de ambos os investimentos.

Tabela 8 – Análise do Investimento

Valor de eficiência do módulo por ano:	0,995
TX de aplicação CDI ANUAL	1,108
% TX de aplicação CDI ANUAL	10,80
INFLAÇÃO ENERGÉTICA MÉDIA	1,108
% INFLAÇÃO ENERGÉTICA MÉDIA	10,80
Custo do sistema (kit)	9.130,82
Frete	-
Valor do Projeto	-
Valor da Instalação	1.217,50
CUSTO DO SISTEMA INSTALADO	10.348,32
Preço per watt peak: R\$/ W	10,05

Fonte: A autora, 2017, com base nos dados obtidos no presente estudo

De posse dessas informações, mais adiante, será realizada a análise integral da viabilidade econômica e financeira da implantação do sistema fotovoltaico na unidade consumidora, para fins de auxiliar a tomada de decisão quanto a utilização do sistema fotovoltaico.

4.4.3 Geração de energia solar e economia

O primeiro quadro abaixo consegue evidenciar a geração de energia solar por mês, com base nos dados da irradiação solar do município de Curitiba e da potência do gerador. Já o segundo traz a economia mensal obtida a partir da implantação do sistema fotovoltaico.

Tabela 9 – Economia mensal gerada pelo Sistema Fotovoltaico

VIABILIDADE FINANCEIRA			
<u>ECONOMIA MENSAL GERADA PELO SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO</u>			
Geração (KWh / mês)		Economia (R\$)	
Mês de Ref	TOTAL	Mês de Ref	TOTAL
JAN	110	JAN	77
FEV	102	FEV	71
MAR	92	MAR	64
ABR	89	ABR	62
MAI	80	MAI	56
JUN	83	JUN	58
JUL	105	JUL	74
AGO	101	AGO	71
SET	101	SET	71
OUT	107	OUT	75
NOV	118	NOV	83
DEZ	118	DEZ	82
TOTAL	1.206	TOTAL	844

Fonte: A autora, 2017, com base nos dados obtidos no presente estudo

Da análise da economia gerada pelo sistema fotovoltaico, poder-se, ainda que de forma inicialmente superficial, avaliar a viabilidade econômica e financeira do sistema de geração distribuída fotovoltaica, posto que, apenas no primeiro ano há uma economia estimada de R\$ 844,00, desconsiderando eventuais fatores externos, como aumentos tarifários sucessivos e a escassez cada vez mais acentuada de outros recursos energéticos que tendem a encarecer o preço do *watt peak* cobrado pela concessionária de energia elétrica.

4.4.4 Payback do sistema fotovoltaico

Conforme tabela abaixo, o *Payback* da implantação do sistema fotovoltaico ocorrerá em 7 anos, quando o retorno financeiro da economia gerada pelo sistema supera o valor do investimento.

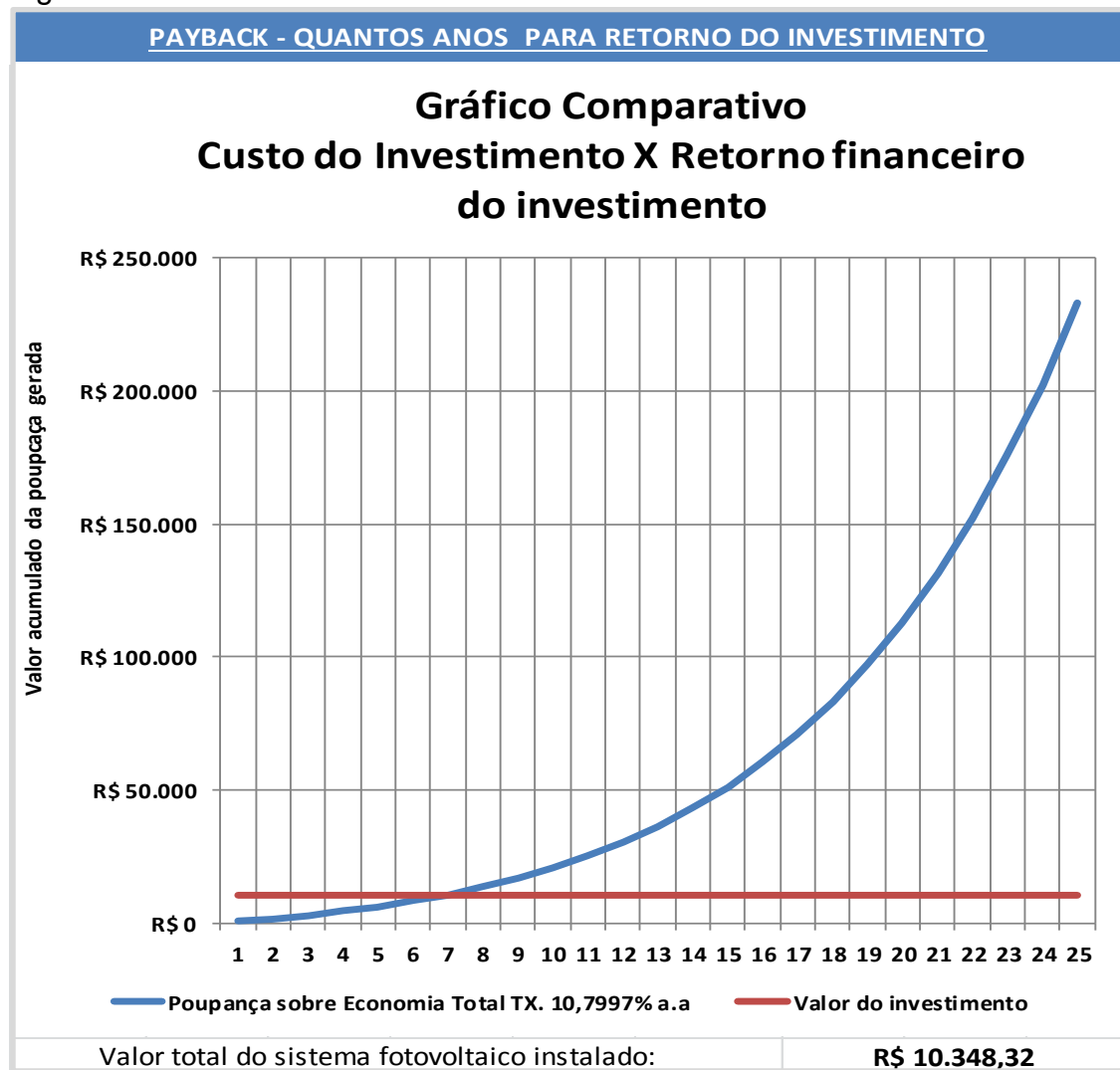
Tabela 10 – Payback do Sistema Fotovoltaico

ANO	Valor da Economia	ANO	Poupança acumulada gerada pela economia	Valor do investimento
1	844,49	1	R\$ 844	R\$ 10.348
2	931,01	2	R\$ 1.867	R\$ 10.348
3	1.026,40	3	R\$ 3.094,707	R\$ 10.348
4	1.131,57	4	R\$ 4.560,503	R\$ 10.348
5	1.247,51	5	R\$ 6.300,546	R\$ 10.348
6	1.375,33	6	R\$ 8.356,333	R\$ 10.348
7	1.516,24	7	R\$ 10.775,061	R\$ 10.348
8	1.671,60	8	R\$ 13.610,366	R\$ 10.348
9	1.842,87	9	R\$ 16.923,156	R\$ 10.348
10	2.031,69	10	R\$ 20.782,548	R\$ 10.348
11	2.239,86	11	R\$ 25.266,921	R\$ 10.348
12	2.469,35	12	R\$ 30.465,103	R\$ 10.348
13	2.722,36	13	R\$ 36.477,698	R\$ 10.348
14	3.001,30	14	R\$ 43.418,586	R\$ 10.348
15	3.308,81	15	R\$ 51.416,604	R\$ 10.348
16	3.647,83	16	R\$ 60.617,428	R\$ 10.348
17	4.021,59	17	R\$ 71.185,698	R\$ 10.348
18	4.433,64	18	R\$ 83.307,392	R\$ 10.348
19	4.887,91	19	R\$ 97.192,501	R\$ 10.348
20	5.388,73	20	R\$ 113.078,017	R\$ 10.348
21	5.940,85	21	R\$ 131.231,297	R\$ 10.348
22	6.549,55	22	R\$ 151.953,831	R\$ 10.348
23	7.220,62	23	R\$ 175.585,466	R\$ 10.348
24	7.960,45	24	R\$ 202.509,143	R\$ 10.348
25	8.776,07	25	R\$ 233.156,204	R\$ 10.348

Fonte: A autora, 2017, elaborado a partir dos dados obtidos no presente estudo

O gráfico, a seguir, representa o comparativo entre o custo da implantação do sistema fotovoltaico e o retorno financeiro do investimento, proveniente da economia gerada pela suplementação da fonte de energia, mediante a redução do consumo de energia elétrica provida pela concessionária.

Figura 8 – Gráfico do Custo do Investimento e Retorno Financeiro



Fonte: A autora, 2017, elaborado a partir dos dados obtidos no presente estudo

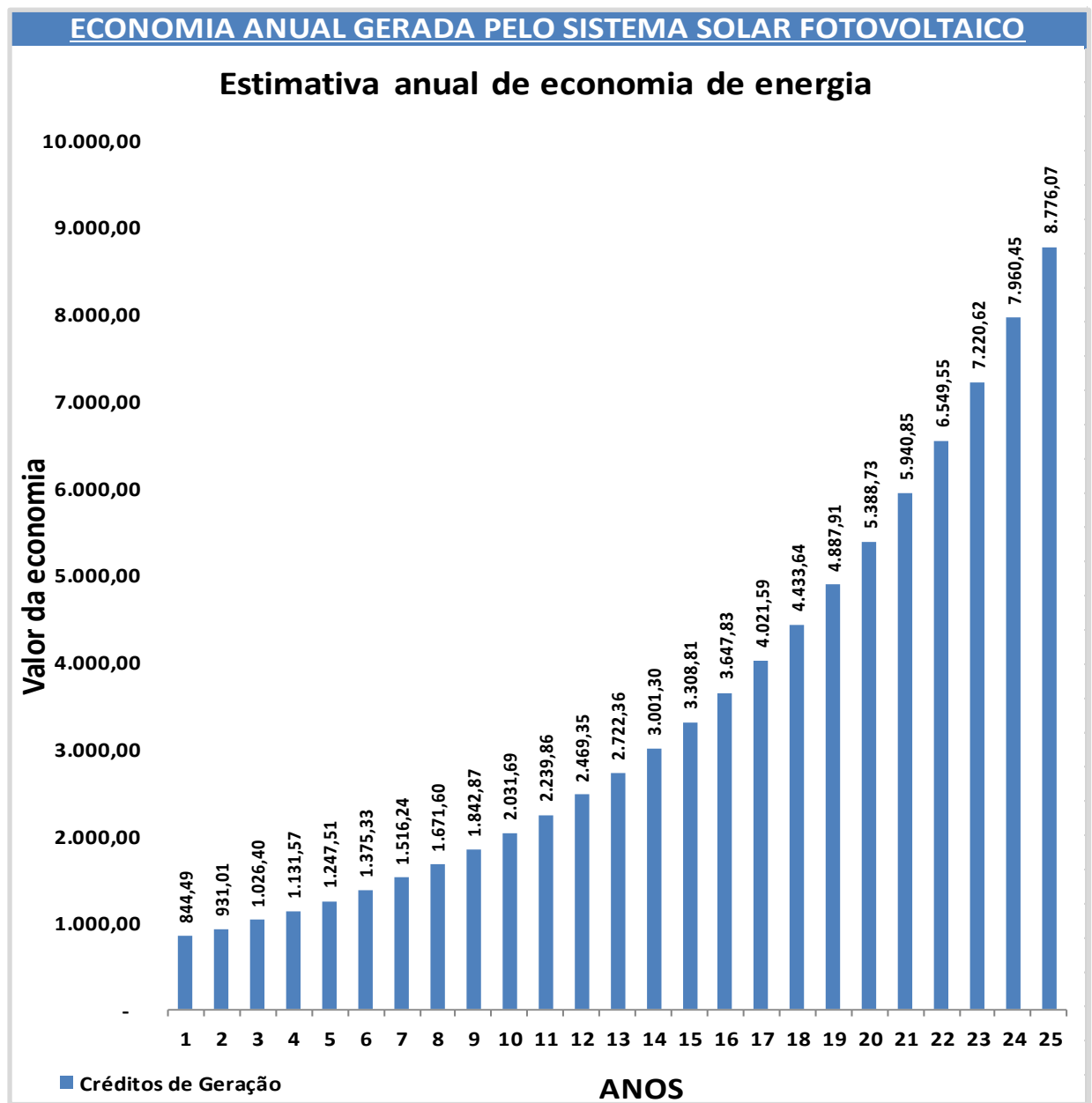
Da análise do referido gráfico, verifica-se que a economia gerada pela utilização do sistema fotovoltaico permite uma rentabilidade do investimento um tanto quanto atrativo ao longo dos anos. Assim, apesar do alto investimento para a instalação do sistema, pode-se dizer que, a longo prazo, ele tende a se pagar e até mesmo se torna rentável frente aos sucessivos aumentos das tarifas de energia elétrica cobradas pela concessionária.

4.4.5 Estimativa de economia anual de energia e economia total aplicada

O gráfico abaixo demonstra a estimativa anual de economia proveniente da implantação do sistema fotovoltaico e a economia total aplicada, corroborando com a

presente análise da efetiva viabilidade econômica e financeira da instalação do sistema fotovoltaico como forma de suprir, ainda que parcialmente, a demanda energética da unidade consumidora.

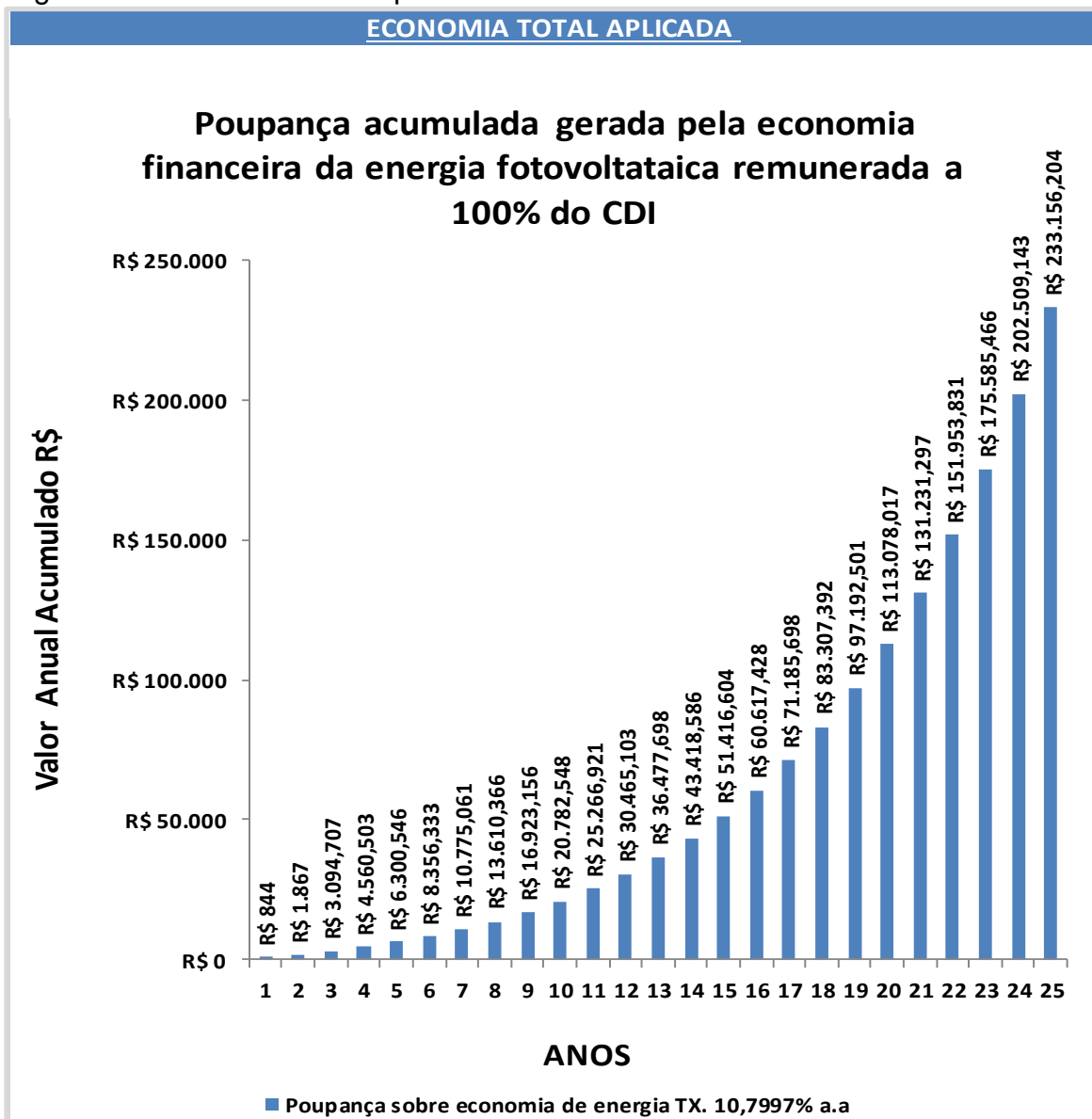
Figura 9 – Estimativa da Economia anual gerada pelo Sistema Fotovoltaico



Fonte: A autora, 2017, com base nos dados obtidos com o presente estudo

Já o gráfico, a seguir, demonstra o rendimento da aplicação do valor da economia gerada através da instalação do sistema fotovoltaico ao longo dos anos estimados de vida útil do sistema.

Figura 10 – Economia total aplicada



Fonte: A autora, 2017, com base nos dados obtidos com o presente estudo

Todos os gráficos e tabelas trazidos nesta análise do projeto de implantação do sistema fotovoltaico permite-nos concluir, sem maiores delongas, a sua viabilidade econômica e financeira, posto que a economia gerada proveniente da redução do custo da conta de energia elétrica ao longo dos anos permite ao consumidor aplicar o montante economizado na aquisição de outros bens de consumo ou até mesmo na aplicação do montante em um fundo monetário, além de atrelar ao fator econômico as questões de sustentabilidade e de eliminação de resíduos poluentes, como a emissão de gás carbônico, o que resulta na concepção de que o investimento é sim atrativo, tanto no âmbito econômico-financeiro quanto no âmbito socioambiental.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O presente trabalho pretende demonstrar a utilização da energia fotovoltaica como meio de diversificação da matriz energética do país, a fim de reduzir a atual dependência do recurso hídrico e dos combustíveis fósseis, bem como os diversos danos ambientais decorrentes dessas fontes de produção de energia.

Apesar da implantação do sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica ser um investimento de longo prazo, este sistema pode ser considerado como um projeto viável e atrativo, por propiciar, além da produção de energia limpa e renovável, que ao longo dos anos resultará em uma economia substancial nos gastos despendidos no consumo de energia, a potencial redução de investimentos na expansão de malhas de transmissão e distribuição.

Ademais, o Brasil detém condições extremamente favoráveis para a utilização da energia solar, tendo em vista os altos níveis de irradiação que recebe em todo o seu território. Aliado a este fator, temos a redução gradual no preço dos sistemas fotovoltaicos de geração distribuída e o constante aumento das tarifas de energia elétrica cobradas pelas concessionárias.

Outrossim, a preocupação mundial com o esgotamento das fontes de energia, as alterações climáticas ocasionadas pela emissão de gases poluentes e demais questões voltadas à sustentabilidade e ao impacto ambiental tem evidenciado a real necessidade de se atrelar o desenvolvimento das fontes energéticas às questões socioambientais.

Apesar de nenhuma fonte de energia estar totalmente livre de impactos ambientais, a utilização da energia elétrica por meio de sistemas fotovoltaicos constitui uma alternativa que oferece inúmeros benefícios ao meio ambiente, especificamente no que diz respeito à sua capacidade de renovação e de redução das emissões de gases de efeito estufa e, conseqüentemente, a mitigação do aquecimento global.

Ainda, a ciência e a tecnologia constituem protagonistas imprescindíveis para o aperfeiçoamento de novos métodos de produção de energia de baixa degradação ambiental, como a energia solar, objeto do presente estudo, que, atualmente, constitui uma das alternativas energéticas mais promissoras para diminuir a dependência excessiva dos combustíveis fósseis.

Com vistas à otimização da tutela ambiental e a uma maior eficiência energética, a implementação de sistemas solares fotovoltaicos em edifícios urbanos e interligados à rede elétrica vem tomando impulsos significativos nos últimos anos, e isso se deve, segundo Ricardo Ruther (2004), a diversas vantagens do referido sistema, tais como (i) redução das perdas por transmissão e distribuição de energia; (ii) redução da necessidade de investimentos em linhas de transmissão e distribuição; (iii) instalação realizada na própria edificação, sendo desnecessária a destinação de uma área específica para o sistema fotovoltaico; (iv) redução da demanda da energia gerada em grande escala; (v) incentivo ao desenvolvimento do setor de produção de energia limpa e renovável; (vi) modularidade e curto prazo de instalação; (vii) ausência de emissão, durante a sua operação, de gases precursores do efeito estufa e (viii) equipamento com grande vida útil e mínima manutenção.

Ante todos os supramencionados argumentos, pode-se concluir que a viabilidade do uso da tecnologia fotovoltaica, em termos econômicos e ambientais, é facilmente perceptível.

Não obstante os inúmeros benefícios ambientais trazidos pelo desenvolvimento dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica, ainda há de se mencionar a significativa redução de preço da instalação do sistema, a par do aumento das suas características de rendimento e confiabilidade, fatos que consubstanciam, cada vez mais, a tomada de decisão frente a viabilidade econômica e socioambiental da implantação do sistema fotovoltaico como fonte suplementar de energia nas unidades consumidoras.

Por fim, como no estudo de caso o *payback* se dá antes da meia vida do projeto, que atualmente é de 25 anos, pode-se auferir que existe uma alta viabilidade dessa tecnologia para os consumidores brasileiros, além da significativa contribuição para a proteção do meio ambiente, diante da redução considerável de emissão de CO₂ proveniente da queima de combustíveis fósseis e das imensuráveis degradações ambientais oriundas da matriz energética de hidrelétricas.

Com este trabalho, espera-se contribuir para o aprofundamento e investigação quanto à viabilidade e benefícios, tanto econômico-financeiro como socioambiental, da implantação de um sistema fotovoltaico de geração distribuída como fonte suplementar de energia elétrica.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, F.L.D.; MORAES, A.J.D.; GUIMARÃES, G.C. **Sistema Solar Fotovoltaico conectado à rede elétrica operando como gerador de potência ativa e compensador de potência reativa.** In: VII Conferência de Estudos em Engenharia Elétrica, 2009, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2009. p.1.

AMERICA DO SOL. **Simulador Solar.** Disponível em: <<http://www.americadosol.org/simulador>>. Acesso em: 14/03/2017.

ANEEL - Agência nacional de energia elétrica. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>> Acesso em: 14/03/2017.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Cadernos Temáticos ANEEL. Micro e Minigeração Distribuída. Sistema de Compensação de Energia Elétrica.** 2016. Brasília. 2ª Edição. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/documents/656877/14913578/Caderno+tematico+Micro+e+Minigera%C3%A7%C3%A3o+Distribuida+-+2+edicao/716e8bb2-83b8-48e9-b4c8-a66d7f655161>>. Acesso em: 14/03/2017.

ANEEL. **Entendendo a Tarifa.** Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/entendendo-a-tarifa>>. Acesso em: 14/03/2017.

ANEEL. **Por dentro da conta de luz. Informação de utilidade pública.** Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/cartilha_1p_atual.pdf>. Acesso em: 14/03/2017.

ASSUNÇÃO, J.; REZENDE, L.; SCHUTZE, A.M. **Elasticidade Preço da Demanda Residencial de Energia Elétrica no Brasil.** In: XXXVII Encontro Brasileiro de Econometria, 2015, Florianópolis, 2015. p. 5.

CASAROTTO FILHO, N. e KOPITKE, B.H. **Análise de investimentos: matemática financeira, engenharia econômica, tomada de decisão e estratégica empresarial.** 6ª Edição. São Paulo: Atlas. 1994. p. 108.

CASTRO, R.D. **Energia solar térmica e fotovoltaica em residências: estudo comparativo em diversas localidades do Brasil.** Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2014. p. 11.

COOPER, E. e MARTINS JUNIOR, W.M. **Aplicação de painéis solares fotovoltaicos como fonte geradora complementar de energia elétrica em residências.** Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013. p. 16.

CRESESB. **Potencial Solar – SunData**. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>>. Acesso em 14/03/2017.

FUGIMOTO, S. K. **Estrutura de tarifas de energia elétrica análise crítica e proposições metodológicas**. Universidade de São Paulo, 2010. p. 11.

MARION, J. C. **Contabilidade Empresarial**. 8ª Edição. São Paulo. Atlas, 1998. p. 380.

MOTTA, R. R. **Engenharia Econômica e Finanças**. Rio de Janeiro: Editora Campus Apebro Elsevier. 2009. p. 131 e 147.

RÜTHER, R. **Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil**. Florianópolis: LABSOLAR, 2004. p. 30 e 45.

SATRIX. **Geração Fotovoltaica. Entenda como funciona o sistema**. Disponível em: <<http://www1.satrix.com.br/satrix/tecnologia/index.html>>. Acesso em: 14/03/2017.

SEBRAE. **Análise e Planejamento Financeiro – Manual do Participante**. Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresa. Brasília. 2011.